

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Masatoshi YOSHIKAWA, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: MAGNETORESISTIVE ELEMENT, MAGNETORESISTIVE HEAD AND MAGNETIC  
REPRODUCING APPARATUS

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-378648	December 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 2 月 2 6 日  
Date of Application:

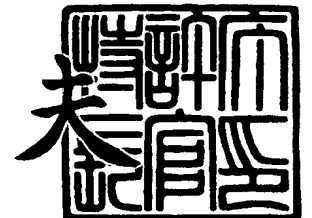
出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 7 8 6 4 8  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 2 - 3 7 8 6 4 8 ]

出      願      人            株 式 会 社 東 芝  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    7 月 1 8 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 A000205213

【提出日】 平成14年12月26日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 5/33

【発明の名称】 磁気抵抗効果阻止、時期抵抗効果方ヘッドおよび磁気記録再生装置

【請求項の数】 9

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

【氏名】 吉川 将寿

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市末広町 2 丁目 9 番地 株式会社東芝青梅事業所内

【氏名】 高岸 雅幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

【氏名】 船山 知己

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

【氏名】 館山 公一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

【氏名】 岩崎 仁志

**【発明者】**

**【住所又は居所】** 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

**【氏名】** 福澤 英明

**【特許出願人】**

**【識別番号】** 000003078

**【氏名又は名称】** 株式会社 東芝

**【代理人】**

**【識別番号】** 100058479

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 鈴江 武彦

**【電話番号】** 03-3502-3181

**【選任した代理人】**

**【識別番号】** 100084618

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 村松 貞男

**【選任した代理人】**

**【識別番号】** 100068814

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 坪井 淳

**【選任した代理人】**

**【識別番号】** 100092196

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 橋本 良郎

**【選任した代理人】**

**【識別番号】** 100091351

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 河野 哲

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100070437

【弁理士】

【氏名又は名称】 河井 将次

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果阻止、時期抵抗効果方ヘッドおよび磁気記録再生装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界によって自由に変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられ、第1の非金属中間層／金属中間層／第2の非金属中間層の積層構造を有する非磁性中間層とを含む磁気抵抗効果膜と、

前記磁気抵抗効果膜の膜面にほぼ垂直方向に通電するように配置され、前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続された一対の電極膜とを具備したことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記金属中間層の厚さは、0.5nm以上20nm以下であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記磁化自由層と前記第1の非金属中間層との間に第1の界面金属層が設けられていることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記磁化固着層と前記第2の非金属中間層との間に第2の界面金属層が設けられていることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記金属中間層は、Al、Cu、Au、Ag、Pt、Pd、IrおよびOsからなる群より選択される少なくとも1種の金属を含有することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 前記第1または第2の界面金属層は、Cu、Au、Ag、Pt、Pd、IrおよびOsからなる群より選択される少なくとも1種の金属を含有することを特徴とする請求項3または4記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 前記第1および第2の非金属中間層は、B、Si、Ge、Ta、W、Nb、Al、Mo、P、V、As、Sb、Zr、Ti、Zn、Pb、Th、Be、Cd、Sc、La、Y、Pr、Cr、Sn、Ga、In、Rh、Pd、Mg、Li、Ba、Ca、Sr、Mn、Fe、Co、Ni、Rbおよび希土類金属からなる群より選択される少なくとも1種の元素を含有し、Cu、Au、Ag、Pt、Pd、IrおよびOsからなる群より選択される元素を1at%以上

50at%未満の範囲で含有する酸化物、酸窒化物または窒化物であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 請求項1ないし7のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子を備えたことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項9】 請求項8に記載の磁気ヘッドと、磁気記録媒体とを備えたことを特徴とする磁気再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、薄膜面に対してほぼ垂直にセンス電流を流す磁気抵抗効果膜を用いた磁気抵抗効果素子およびそれを用いた磁気抵抗効果型ヘッドおよびそれを搭載した磁気記録再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

ある種の強磁性体では、電気抵抗が外部磁界の強さに応じて変化するという現象が知られており、これは「磁気抵抗効果」と呼ばれている。この効果は外部磁場の検出に使うことができ、そのような磁場検出素子は「磁気抵抗効果素子（以下、「MR素子」とも称する）」と呼ばれる。

【0003】

このようなMR素子は、ハードディスクや磁気テープなどの磁気記録媒体を用いた磁気記録再生装置において、磁気記録媒体に記憶された情報を読み出す磁気ヘッドに利用されており、そのような磁気ヘッドは「MRヘッド」と呼ばれる。

【0004】

近年、これらのMR素子が利用されている磁気記録再生装置、特にハードディスク装置においては、磁気記録密度の高密度化が進み、1ビットのサイズが小さくなり、ビットからの漏れ磁束すなわち信号磁界の量がますます減少している。このため、磁気媒体に高密度で書き込まれた情報の読み出しには、より低磁界でも大きな抵抗変化率を得ることができる高感度で高S/N比のMR素子が要求されている。

## 【0005】

このような背景のもと、現在ではハードディスクMRヘッドに用いるMR素子としては、大きなMR変化率を得ることができるGMR素子、いわゆるスピバルブ(spin-valve)膜を用いることが一般化している。

## 【0006】

スピバルブ膜は、強磁性層F、非磁性層S、強磁性層Pおよび反強磁性層をこの順に積層した構成を有する。非磁性層Sを挟んで、磁氣的に非結合な状態にある2つの強磁性層のうち、一方の強磁性層Pは反強磁性体との交換バイアスにより磁化が固着され、もう片方の強磁性層Fは外部磁界（信号磁界など）により容易に磁化回転できるようになっている。そして、外部磁場によって強磁性層Fの磁化のみを回転させ、2つの強磁性層の間で磁化方向の相対角度を変化させることにより、大きな磁気抵抗効果を得ることができる。

## 【0007】

ここで、強磁性層Fは「フリー層」、「磁場感受層」、「磁化自由層」などと称され、強磁性層Pは「ピン層」、「磁化固着層」などと称され、非磁性層Sは「スペーサ層」、「界面調節中間層」、「中間層」などと称される場合が多い。

## 【0008】

現行のGMRヘッドでは、センス電流を膜面に対して平行に流し、膜面平行方向の抵抗を測定する方式が一般に用いられている。この方法は一般に「CIP (current-in-plane)」方式と呼ばれている。CIP方式の場合、MR変化率としては10～20%程度の値を得ることが可能となっている。しかし、200 Gbit/inch<sup>2</sup>を超えるような高記録密度での情報再生を実現するためには、さらに大きなMR変化率が必要になると予想される。これに対して、現行のCIPスピバルブ膜では、20%を超えるMR変化率を得ることは難しい。このため、MR変化率をいかに大きくできるかが、更なる記録密度の向上のための大きな技術課題となっている。

## 【0009】

そこで、一般的にCIP-GMR膜より、MR変化率が大いといわれるCPP (current-perpendicular-to-plane)-GMR膜が注目されている。CPP方式で



は、センス電流が膜面垂直方向に通電される。しかし、C P P - G M R 膜においては、G M R 膜厚分の抵抗が測定対象となるため面積あたりの抵抗が非常に小さく、素子抵抗としての出力が非常に小さく、大きな S / N が得られないという問題が生じていた。

#### 【 0 0 1 0 】

上述した低抵抗で M R 変化率が低いという課題を克服するために、電流狭窄効果を有する抵抗調整層を挿入した C P P - G M R 素子が提案されている（たとえば特許文献 1 参照）。しかし、この技術では、フリー層とピン層との間の層間結合（H<sub>in</sub>）が大きくなり、ブレイクダウン電圧が低下するという問題が生じていた。

#### 【 0 0 1 1 】

##### 【特許文献】

特開 2 0 0 2 - 2 0 8 7 4 4 号公報

#### 【 0 0 1 2 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、適正な素子抵抗、高 M R 変化率を維持しながら、低い層間結合磁界および高いブレイクダウン電圧を有し、将来の高磁気記録密度に対応可能な高感度な磁気抵抗効果素子と、これを用いた磁気ヘッドおよび磁気再生装置を提供することにある。

#### 【 0 0 1 3 】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の一態様に係る磁気抵抗効果型素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界によって自由に変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられ、第 1 の非金属中間層／金属中間層／第 2 の非金属中間層の積層構造を有する非磁性中間層とを含む磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面にほぼ垂直方向に通電するように配置され、前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一对の電極膜とを具備したことを特徴とする。

#### 【 0 0 1 4 】

本発明の他の態様に係る磁気抵抗効果型ヘッドは、上述した磁気抵抗効果型素子を備えたことを特徴としている。

#### 【0015】

本発明のさらに他の態様に係る磁気再生装置は、上述した磁気抵抗効果型ヘッドと、磁気記録媒体とを備えたことを特徴としている。

#### 【0016】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施形態について説明する。

図1に、本発明の一実施形態に係る磁気抵抗効果素子（CPP-SV膜）の断面図を示す。図1のCPP-SV膜は、図示しない基板上に、下地層11／反強磁性層12／磁化固着層（ピン層）13／第2の界面金属層14／第2の非金属中間層15／金属中間層16／第1の非金属中間層17／第1の界面金属層18／磁化自由層（フリー層）19／保護層20が積層された構造を有する。ピン層13は、反強磁性層12と接して形成され、反強磁性層12との交換結合によりその磁化が固着されている。フリー層19は、たとえば媒体対向面で対向した磁気記録媒体からの外部磁界によって磁化方向が自由に変化する。

#### 【0017】

図2に、本発明の他の実施形態に係るCPP-SV膜の断面図を示す。図2のCPP-SV膜は、図示しない基板上に、下地層11／反強磁性層12／磁化固着層（ピン層）13／第2の非金属中間層15／金属中間層16／第1の非金属中間層17／磁化自由層（フリー層）19／保護層20が積層された構造を有する。すなわち、図2は、図1における第2の界面金属層14と第1の界面金属層18が省略された構造となっている。

#### 【0018】

なお、非金属中間層／金属中間層／非金属中間層／金属中間層／非金属中間層というように、さらに積層する非金属中間層の数を増加させてもよい。

#### 【0019】

本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子では、図1および図2に示されるように、フリー層とピン層との間の中間層として、非金属中間層／金属中間層／非

金属中間層の積層構造を形成している。このように、2層の非金属中間層を金属中間層によって分断して設けているので、フリー層とピン層との間の中間層の厚さを増大させてフリー層－ピン層間に作用する層間磁気結合を低減できるうえに、非金属中間層1層あたりの印加電圧が小さくなりブレイクダウン電圧を向上できる。これらの効果について説明する。

#### 【0020】

一般的に、R－Hカーブ測定時には中心軸に対してバイアスポイントのシフトHshが生じるが、 $H_{sh}=0$ となるように調整するのが好ましい。Hshは $H_{in}+H_{or}-H_d$ で表される。ここで、 $H_{in}$ はRKKY的な層間結合、 $H_{or}$ は界面ラフネスに起因する層間結合、 $H_d$ はピン層からの漏えい磁界によるバイアス効果である。なお、ピン層の構成を調整することにより $H_d=0$ に近づけることは可能である。

#### 【0021】

本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子のようにフリー層とピン層との間に非金属中間層／金属中間層／非金属中間層の積層構造を挿入した場合、従来技術のように単層の非金属中間層を挿入した場合よりも、フリー層とピン層との間の実質的な距離を離すことができる。このため、本発明の実施形態では上述したRKKY的な層間結合( $H_{in}$ )と界面ラフネスに起因する層間結合( $H_{or}$ )を非常に小さくすることができ、Hshを小さくすることができる。

#### 【0022】

次に、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子におけるブレイクダウン電圧について説明する。本発明の磁気抵抗効果素子では、非金属中間層／金属中間層／非金属中間層という積層構造を含むため、非金属中間層1層あたりに印加される電圧が低減される。いま、素子部に動作電圧 $V_t$ が印加されたとすると、非金属中間層1層あたりの印加電圧は、 $n$  ( $n>1$ ) 層の非金属中間層が挿入されている場合にはほぼ $V_t/n$ となり、2層の非金属中間層が挿入されている場合にはほぼ $V_t/2$ となる。したがって、ブレイクダウン電圧は、従来技術のように非金属中間層が単層である場合に $V_B$ とすると、 $n$ 層の非金属中間層が挿入されている場合にはほぼ $n V_B$ 、2層の非金属中間層が挿入されている場合にはほぼ

2  $V_B$ となる。なお、単層の非金属中間層でブレイクダウン電圧を向上させるには、非金属中間層の膜厚を増大させる必要がある。しかし、その場合には同時に単位面積抵抗  $RA$  も上昇するため、磁気ヘッドとしては使用できなくなる。

#### 【0023】

以下、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の各層について詳細に説明する。

##### <非金属中間層の形態>

図3 (a) および (b) を参照して非金属中間層の形態を説明する。図3 (a) および (b) に示すように、非金属中間層 15 (17) は、伝導相 15 a (17 a) と絶縁相 15 b (17 b) を有する2相以上の相から構成される。伝導相は柱状で存在しており、電流パスとして機能する。絶縁相は、酸化物、酸窒化物または窒化物で形成されている。非金属中間層 15 (17) は、非金属中間層の表面に平行な電流通路の断面を狭めて、電流を狭窄する効果を持つ。伝導相とは、伝導特性がオーミック伝導である部分を指す。したがって、伝導相に酸素が混入していても構わない。非金属中間層 15 (17) がオーミック伝導であるかどうかは、素子抵抗の温度特性を4.2 Kから約300 Kまでの範囲、少なくとも77 Kから室温までの範囲で測定すれば判定できる。オーミック伝導の場合には、温度の低下とともに抵抗が減少する。これに対して、たとえばトンネル伝導の場合には、低温度になると抵抗が上昇する傾向が見られる。また、オーミック伝導の場合には、 $I-V$  (センス電流-素子電圧) 特性評価において、 $V$  が  $I$  に完全に比例するのではなく、やや高電圧側にシフトしていく傾向が見られる。

#### 【0024】

伝導相は10 nm以下の直径を有することが好ましい。伝導相の直径が10 nmを超えると電流狭窄効果が非常に小さくなり、単位面積抵抗  $RA$  を調整できなくなる。また、MR増大効果さらには下記に述べるような伝導相の分布を考慮すると、伝導相の直径は5 nm以下であることがより好ましい。

#### 【0025】

非金属中間層の膜面内における伝導相の割合 (占有率) は1%以上20%以下であることが好ましい。1%未満となると素子抵抗が大きくなりすぎ、20%を

超えると電流狭窄効果が薄れてMR変化率が低下する。

#### 【0026】

伝導相は $0.1\mu\text{m}^2$ 中に最低20個以上あることが好ましい。これは、CPP-GMRヘッドで出力を見た場合、伝導相の個数が $0.1\mu\text{m}^2$ あたり20個未満になると、ヘッド浮上面近くの感度低下によるヘッド出力の低下や、トラックプロファイルでの2重ピークが観測されるためである。

#### 【0027】

一方、直接的な組織観察手法である平面電子顕微鏡(TEM)観察によるナノ電子線組成分析(nano-EDX)で観察した場合には、伝導相では電流パスを担うCu、Ag、Au、Ru、Ir、Pt、Osなどの元素が、母相である酸化物(酸窒化物)形成元素よりも多く検出される。すなわち、2次元平面的に組成の揺らぎが観察される。また、局所的電流特性をコンダクタンスAFMまたはTUNA(TUNneling-AFM:トンネルAFM)などにより測定した場合、膜面内で2次元的な抵抗分布または通電電流量分布が見られ、伝導相と絶縁相とを判別できる。コンダクタンスAFMによる測定の場合、コンダクタンスが大きい(抵抗が低い)部分が導電部となる。TUNA測定の場合、定電圧測定のため電流量が大きくなるところが導電部となる。

#### 【0028】

図3(a)および(b)には、2種類の非金属中間層の形態を示されている。図3(a)は2層の非金属中間層15、17の伝導相が、互い違いに配列している場合である。図3(b)は2層の非金属中間層15、17の伝導相が、センス電流通電方向すなわち膜面垂直方向に配列している場合である。いずれの構造でも、素子抵抗を最適範囲まで上昇させる効果を有する。

#### 【0029】

##### <非金属中間層の材料>

非金属中間層は、伝導相と絶縁相とから構成される。非金属中間層の伝導相は、Cu、Au、Ag、Pt、Pd、IrおよびOsからなる群より選択される1種以上の元素を含有する。これらの元素を多く含有する部分がオーミック伝導を担う伝導相となる。この場合、非金属中間層全体の含有率として1at%以上5

0%未満であることが望まれる。これにより、上述した伝導特性の2次元的な分布を形成できる。

### 【0030】

非金属中間層の絶縁相となる酸化物、酸窒化物または窒化物は、ボロン (B)、シリコン (Si)、ゲルマニウム (Ge)、タンタル (Ta)、タングステン (W)、ニオブ (Nb)、アルミニウム (Al)、モリブデン (Mo)、りん (P)、バナジウム (V)、砒素 (As)、アンチモン (Sb)、ジルコニウム (Zr)、チタン (Ti)、亜鉛 (Zn)、鉛 (Pb)、トリウム (Th)、ベリリウム (Be)、ガドミウム (Cd)、スカンジウム (Sc)、ランタン (La)、イットリウム (Y)、プラセオジウム (Pr)、クロム (Cr)、すず (Sn)、ガリウム (Ga)、インジウム (In)、ロジウム (Rh)、パラジウム (Pd)、マグネシウム (Mg)、リチウム (Li)、バリウム (Ba)、カルシウム (Ca)、ストロンチウム (Sr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、ルビジウム (Rb) および希土類金属からなる群より選択される少なくとも1種類以上の元素が含有される酸化物、酸窒化物または窒化物である。

### 【0031】

上記元素のうちでも特に、B、Si、Ge、W、Nb、Mo、P、V、Sb、Zr、Ti、Zn、Pb、Cr、Sn、Ga、Fe、Co および希土類金属は結晶質の酸化物を形成しやすい。一方、AlやTaなどは、アモルファスの酸化物を形成しやすい。結晶質の酸化物は、アモルファスの酸化物よりも、酸素原子の欠損や過剰が伝導特性に影響を与えやすいため、非金属中間層における膜面内での伝導特性の2次元的な変調、および上述したCu、Ag、Au、Ru、Ir、Pt、Osとの合金相形成の際に組成的な変調を作りやすい点で有利である。

### 【0032】

非金属中間層を形成するには、上述した元素の合金を用い、酸化、酸窒化または窒化を行うことが多い。酸化、酸窒化または窒化の方法としては、成膜室内に酸素ガスを導入するのみの自然酸化処理法、成膜室内に酸素ガスを導入しながらAr、N<sub>2</sub>などのイオンを照射するイオンアシスト酸化（酸窒化）処理法、酸素

(窒素) イオンを照射するイオンビーム照射酸化(窒化)法などがある。

#### 【0033】

なお、2層の非金属中間層の厚さおよび組成は、互いに異なっている場合でも構わない。

#### 【0034】

##### <金属中間層>

金属中間層としては、Al、Cu、Ag、Au、Ru、Ir、Pt、Osなどの金属薄膜が用いられる。CuはMR変化率の向上という点で最も好ましく、Au、Pt、Ruは耐酸化機能の点で好ましい。金属中間層に使用される元素と非金属中間層に含有されている元素は同じであることが望ましい。図3(a)および(b)は、金属中間層16と、非金属中間層15、17の伝導相15a、17aに同じ材料を用いている場合を示している。また、図4に示すように、金属中間層16と、非金属中間層15、17の伝導相15a、17aに、異なる材料を用いてもよい。この場合、図4に示すように、金属中間層16の一部が非金属中間層15、17の伝導相15a、17aの部分に侵入していてもよい。

#### 【0035】

金属中間層は、単層でも複数層でも構わない。たとえば、電子の散乱が小さくスピン拡散長の長いAlを用いて、Cu/Al/CuやAu/Al/Auなどの積層構造を採用することが考えられる。金属中間層のうち非金属中間層と接する部分には、Au、Ru、Ptなどの非酸化性金属を用いることが好ましい。

#### 【0036】

金属中間層の厚さは、0.5nm以上であることが望ましい。0.5nm未満だと、成膜時の飛来粒子のエネルギーにより、下層または上層の非金属中間層とミキシングを生じ、ほとんど非金属中間層に取り込まれた状態になるため、2層の非金属中間層を分断することができなくなり、H<sub>in</sub>の低下およびブレイクダウン電圧の向上という効果が現れにくくなる。金属中間層の厚さは20nm以下であることが好ましい。金属中間層の厚さが20nmを超えると、2層の非金属中間層の間をバリステックに伝導する電子が減少するため、すなわちスピン拡散によりスピン情報の保持率が低下するため、MR変化率が有意に低下する。金属

中間層の厚さが20 nm以下であればMR変化率の低下は緩やかである。

#### 【0037】

なお、非金属中間層／金属中間層の断面TEM観察におけるナノ領域のEDXによる組成分析を行った場合、酸素の分布にグラデーションが観察される。すなわち、厳密には非金属中間層と金属中間層がシャープでなくてもよい。同様に、金属中間層と非金属中間層との間で酸素以外の元素の分布にグラデーション（組成変調）がついていてもよい。

#### 【0038】

##### <第1の界面金属層の効果>

図1の磁気抵抗効果膜においては、フリー層19と第1の非金属中間層17との間に第1の界面金属層18が設けられている。第1の界面金属層18はフリー層19の軟磁性化に寄与する。すなわち、第1の界面金属層18によりフリー層19の(111)配向性および結晶性が向上し、格子のミスマッチによる膜応力が緩和されるので、フリー層19のHcが低下する。一方、フリー層19が直接的に酸化物、酸窒化物または窒化物からなる第1の非金属中間層17と接していると、フリー層19が酸素の影響を受けて保磁力が大きくなる傾向がある。したがって、フリー層19と第1の非金属中間層17との間に、第1の界面金属層18を設けることが好ましい。

#### 【0039】

##### <第2の界面金属層の効果>

図1の磁気抵抗効果素子においては、ピン層13と第2の非金属中間層15との間に第2の界面金属層14が設けられている。第2の界面金属層14は、第2の非金属中間層15を形成するための酸化処理の際に起こり得るピン層13の酸化を防止する効果を有する。また、第2の界面金属層14を設ければ、アニール時に第2の非金属中間層15からの酸素拡散によるピン層13の酸化を防止することができ、ピン層13の交換結合磁界の低下を抑制できる。

#### 【0040】

また、界面金属層／非金属中間層／金属中間層／非金属中間層／界面金属層の断面でも膜面垂直方向に組成のグラデーション（組成変調）がついていてもよい。す



なわち、断面電子顕微鏡 (TEM) 観察によるナノ組成分析を行った場合に明確な組成の分離が観察される必要はない。特に、界面金属層、非金属中間層の伝導相、および金属中間層に同じ材料を用いた場合には、断面 TEM 観察などにおいて、層間の界面が不明確になることがある。

#### 【0041】

##### <フリー層の説明>

フリー層の強磁性材料としては、Co、Fe、Ni またはこれらの元素を含む合金を用いることができる。代表的には、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>合金、CoFeNi 合金、Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>合金 (パーマロイ) が用いられる。

#### 【0042】

フリー層は、良好な軟磁性を発揮するために、面心立方 (fcc) 構造を有し (111) 面が膜面に平行になるように配向していることが望ましい。なお、フリー層には、hcp (0001) や bcc (110) 配向が部分的に含まれていてもよい。

#### 【0043】

フリー層に対しては、硬磁性膜 (ハードバイアス膜) または反強磁性膜 (パターンバイアス膜) により磁気バイアスを印加することによって、異方性制御および磁区制御 (バイアス制御) を行うことが望ましい。

#### 【0044】

##### <ピン層の説明>

ピン層の強磁性材料としては、フリー層と同様の材料、たとえば Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>、Fe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub>/Cu 積層膜、Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>などが用いられる。

#### 【0045】

ピン層はいわゆる「シンセティック構造」としてもよい。シンセティックピン層の基本構造は、強磁性層/非磁性層/強磁性層の積層構造であり、2層の強磁性層は非磁性層を介して反強磁性的に結合している。非磁性層の材料としては、代表的には Ru が挙げられる。

#### 【0046】

上述したようにピン層の磁化は、反強磁性層との交換結合により一方向に磁化

固着される。反強磁性層の材料としては、Pt、Ir、Rh、RuまたはPdを含むMn系合金が用いられる。代表的な反強磁性材料としては、PtMn合金、PtPdMn合金、IrMn合金が挙げられる。

#### 【0047】

##### 【実施例】

以下、本発明の実施例を説明する。

#### 【0048】

##### 実施例1

Si(100)基板上に厚さ約100nmの下部電極を成膜した後、フォトリソグラフィとドライエッチングにより下部電極をパターンニングした。下部電極上に、下記の各層を含む図1に示すCPP-SV膜(実施例1)を成膜した。成膜はDCマグネトロンスパッタ装置を用いて行った。

#### 【0049】

下地層11 Ta/Ru

反強磁性層12 PtMn

ピン層13 CoFe/Ru/CoFe

第2の界面金属層14 Cu

第2の非金属中間層15 AlCu(厚さ0.7nm)を酸化処理したもの

金属中間層16 Cu(厚さ2nm)

第1の非金属中間層17 AlCu(厚さ0.7nm)を酸化処理したもの

第1の界面金属層18 Cu

フリー層19 CoFe

保護層20 Cu/Ta。

#### 【0050】

すなわち、実施例1では、ピン層とフリー層との間の中間層が、第2の界面金属層(Cu)/第2の非金属中間層(酸化されたAlCu)/金属中間層(Cu)/第1の非金属中間層(酸化されたAlCu)/第1の界面金属層(Cu)という構造になっている。

#### 【0051】

従来例 1 a および従来例 1 b として、ピン層とフリー層との間の中間層を、第 2 の界面金属層 (Cu) / 非金属中間層 (酸化された AlCu) / 第 1 の界面金属層 (Cu) の積層構造とした以外は、実施例 1 と同様な構造の CPP-SV 膜を成膜した。

#### 【0052】

なお、従来例 1 a の非金属中間層は厚さ 0.7 nm の AlCu を酸化処理したものであり、従来例 1 b の非金属中間層は厚さ 1.0 nm の AlCu を酸化処理したものである。

#### 【0053】

非金属中間層を形成するための酸化処理は、チャンバー内に酸素を導入しながら Ar イオンを照射する方法 (IAO: Ion-Assisted-Oxidation) で行った。チャンバー内への酸素導入量は、1 kL ~ 20 kL の間で調整した。CPP-SV 膜を成膜した後、フォトリソグラフィーとイオンミリングによりパターンニングした。CPP-SV 膜パターンサイズは、0.2  $\mu$ m から 5.0  $\mu$ m であり、形状は四角である。その後、上部電極を形成した。

#### 【0054】

実施例 1、従来例 1 a および従来例 1 b の CPP-SV 膜の磁気特性、MR 特性および I-V 特性を測定した。MR 変化率は  $dR-R$  プロットから求めた。X 軸に R、Y 軸に  $dR$  をとり、 $dR-R$  プロットがなす直線の傾きの 100 倍を MR 変化率と定義した。単位面積抵抗 RA は  $R-1/A$  プロット (A は素子面積) から算出した。X 軸に  $1/A$ 、Y 軸に R をとり、 $R-1/A$  プロットがなす直線の傾きを RA と定義した。

#### 【0055】

MR 変化率は、実施例 1 で 2.7%、従来例 1 a で 2.5% であり、両者はほぼ同様の MR 変化率を示すことがわかった。

#### 【0056】

単位面積抵抗 RA は、実施例 1 で  $350 \text{ m}\Omega \mu\text{m}^2$ 、従来例 1 a で  $300 \text{ m}\Omega \mu\text{m}^2$  であった。実施例 1 では、単位面積抵抗 RA の上昇はある程度で抑えられ、100 Gbps 以上の超高記録密度での磁気ヘッドとしての使用が可能なレ

ンジ ( $500\text{ m}\Omega\mu\text{m}^2$ 以下) に入ることがわかった。

【0057】

図5 (a) に従来例1 aのR-H曲線、図5 (b) に実施例1のR-H曲線をそれぞれ示す。これらの図からわかるように、従来例1 aのHshは約300 eであるのに対して、実施例1ではHshが約50 eまで低下しており、実用的にも非常に優れた特性を示すことがわかった。実施例1は、ほぼジャストなバイアスポイントであった。

【0058】

図6 に従来例1 aおよび実施例1のI-V特性を示す。従来例1 aは $V_B$ が約350 mVであったのに対して、実施例1は $V_B$ が約750 mVまで向上していることがわかった。

【0059】

従来例1 bでは、単位面積抵抗RAが約 $2.0\text{ }\Omega\mu\text{m}^2$ と高いうえに、MR変化率が1.5%まで低下した。また、従来例1 bでは、 $V_B$ が400 mVであり、それほど大きな向上は認められなかった。

【0060】

実施例2～4および従来例2～4

非金属中間層にAlCu合金の酸化物以外の材料を用い、実施例1または従来例1 aと同様な構造のCPP-SV膜を成膜して実験を行った。

【0061】

すなわち、実施例2～4では、ピン層とフリー層との間の中間層が、第2の界面金属層／第2の非金属中間層／金属中間層／第1の非金属中間層／第1の界面金属層という積層構造になっている（非金属中間層二層）。

【0062】

従来例2～4では、ピン層とフリー層との間の中間層が、第2の界面金属層／非金属中間層／第1の界面金属層という積層構造になっている（非金属中間層単層）。

【0063】

非金属中間層の材料は以下の通りである。

実施例 2、従来例 2  $\text{Cr}_{90}\text{Cu}_{10}$  (厚さ 0.65 nm) を酸化したもの

実施例 3、従来例 3  $(\text{Cr}_{0.9}\text{Cu}_{0.1})_{97}\text{B}_3$  (厚さ 0.9 nm) を酸化したもの

実施例 4、従来例 4  $(\text{Cr}_{0.9}\text{Cu}_{0.1})_{95}\text{Hf}_3\text{B}_2$  (厚さ 0.9 nm) を酸化したもの

その他の各層の材料は実施例 1 と同じものを用いた。

#### 【0064】

下記表 1 に、それぞれの CPP-SV 膜について、単位面積抵抗 RA、MR 変化率、ブレイクダウン電圧 ( $V_B$ ) を示す。表 1 に示されるように、実施例 2 ~ 4 のいずれでも、500 mV 以上のブレイクダウン電圧 ( $V_B$ ) が得られることがわかった。

#### 【0065】

【表 1】

	構造	非金属中間層 (nm)	RA ( $m\Omega\mu m^2$ )	MR変化率 (%)	VB (mV)
従来例 2	非金属中間層 単層	Cr <sub>90</sub> Cu <sub>10</sub> -O 0.65	300	5.1	280
実施例 2	非金属中間層 二層		550	3.0	520
従来例 3	非金属中間層 単層	(Cr <sub>0.9</sub> Cu <sub>0.1</sub> ) <sub>97</sub> B <sub>3</sub> -O 0.9	250	4.9	320
実施例 3	非金属中間層 二層		490	2.8	630
従来例 4	非金属中間層 単層	(Cr <sub>0.9</sub> Cu <sub>0.1</sub> ) <sub>95</sub> Hf <sub>3</sub> B <sub>2</sub> -O 0.7	320	5.5	300
実施例 4	非金属中間層 二層		600	3.3	590

【0066】

次に、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を搭載した磁気ヘッドおよび磁気再生装置について説明する。本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子は、

たとえば記録再生一体型の磁気ヘッドアセンブリに組み込んで磁気記録再生装置に搭載することができる。

#### 【0067】

図7は、磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。この磁気記録再生装置150は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、垂直磁気記録用媒体ディスク151は、スピンドル152に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印Aの方向に回転する。磁気記録再生装置150は、複数の媒体ディスク151を備えていてもよい。

#### 【0068】

媒体ディスク151に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ153は、薄膜状のサスペンション154の先端に取り付けられている。ヘッドスライダ153は、その先端付近に、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドを搭載している。媒体ディスク151が回転すると、ヘッドスライダ153の媒体対向面(ABS)は媒体ディスク151の表面から所定の浮上量をもって保持される。なおヘッドスライダ153が媒体ディスク151と接触するいわゆる「接触走行型」であってもよい。

#### 【0069】

サスペンション154は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム155の一端に接続されている。アクチュエータアーム155の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ156が設けられている。ボイスコイルモータ156は、アクチュエータアーム155のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成される。アクチュエータアーム155は、軸157の上下2箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ156により回転摺動が自在にできるようになっている。

#### 【0070】

図8は、アクチュエータアーム155から先の磁気ヘッドアセンブリ160を

ディスク側から眺めた拡大斜視図である。すなわち、磁気ヘッドアッセンブリ 160 は、例えば駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム 155 を有し、アクチュエータアーム 155 の一端にはサスペンション 154 が接続されている。サスペンション 154 の先端には、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドを具備するヘッドスライダ 153 が取り付けられている。サスペンション 154 は信号の書き込みおよび読み取り用のリード線 164 を有し、このリード線 164 とヘッドスライダ 153 に組み込まれた磁気ヘッドの各電極とが電氣的に接続されている。図中 165 は磁気ヘッドアッセンブリの電極パッドである。本発明によれば、上述したような磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドを用いることにより、従来よりも大幅に高い記録密度で磁気記録媒体ディスク 151 に記録された情報を確実に読み取ることが可能となる。

#### 【0071】

##### 【発明の効果】

以上で説明したように、本発明の磁気抵抗効果素子によれば、MR 変化率を向上させるとともに素子抵抗を最適化することができ、さらにブレイクダウン電圧を向上させ、Hsh を最小化することができる。したがって、従来よりも高性能で高出力、低ノイズな磁気抵抗効果型ヘッドおよびそれを搭載した磁気再生装置を提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の一実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

##### 【図 2】

本発明の他の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

##### 【図 3】

本発明の他の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

##### 【図 4】

本発明の他の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

##### 【図 5】

実施例 1 および従来例 1 a の R-H 曲線を示す図。



## 【図 6】

実施例 1 および従来例 1 a の I - V 特性を示す図。

## 【図 7】

本発明の一実施形態に係る磁気記録再生装置を示す斜視図。

## 【図 8】

本発明の一実施形態に係る磁気ヘッドアセンブリを示す斜視図。

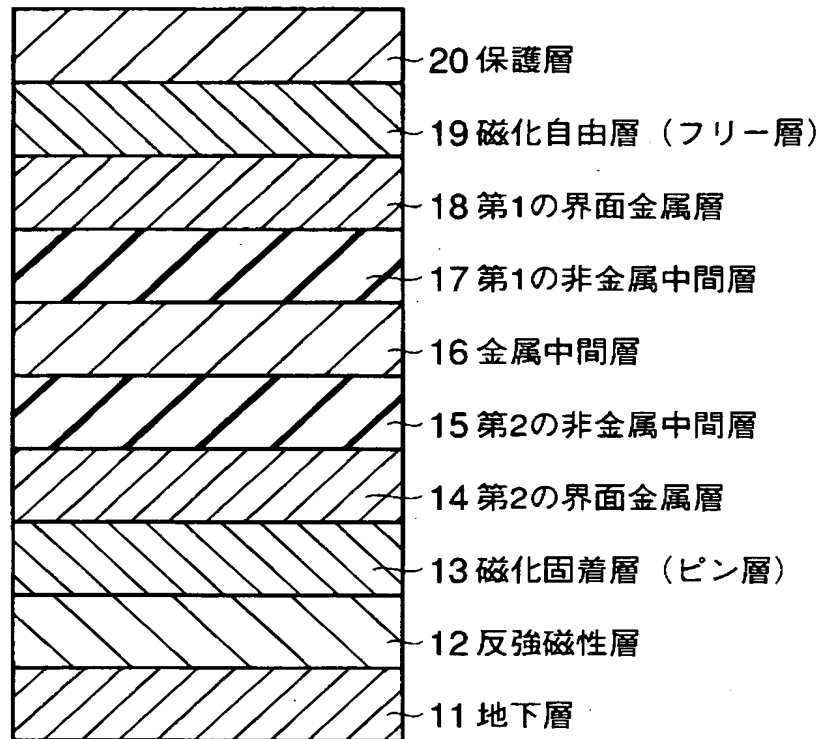
## 【符号の説明】

- 1 1 …下地層、1 2 …反強磁性層、1 3 …磁化固着層（ピン層）、
- 1 4 …第 2 の界面金属層、1 5 …第 2 の非金属中間層、1 6 …金属中間層、
- 1 7 …第 1 の非金属中間層、1 8 …第 1 の界面金属層、
- 1 9 …磁化自由層（フリー層）、2 0 …保護層。

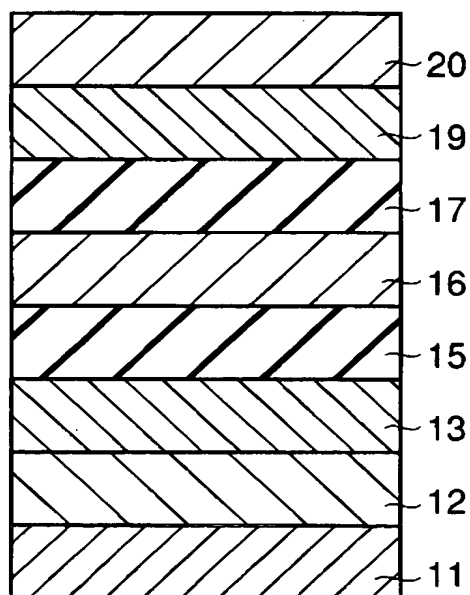
【書類名】

図面

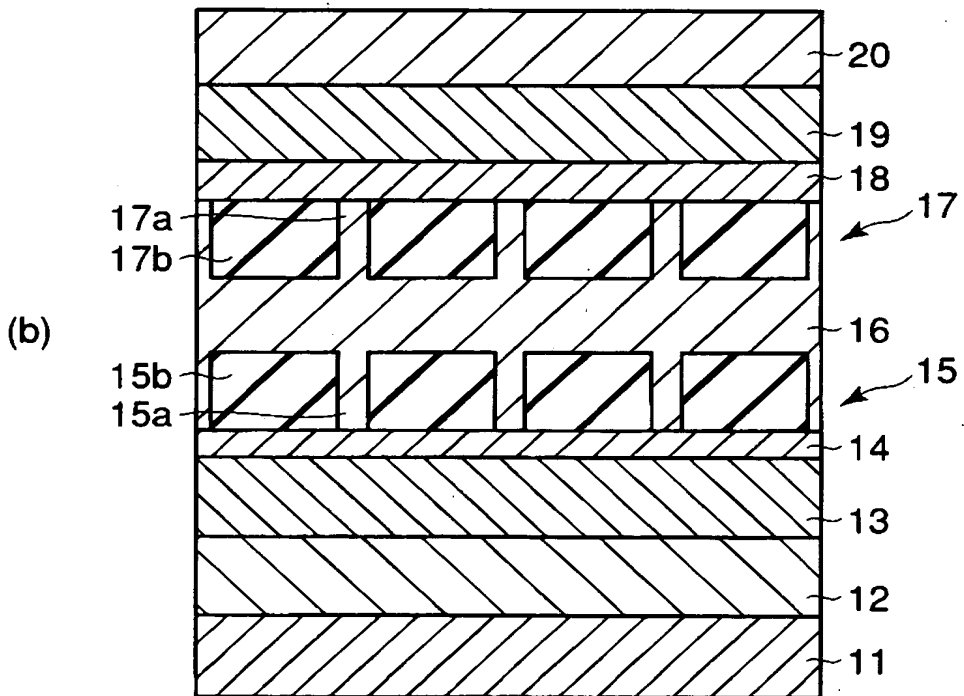
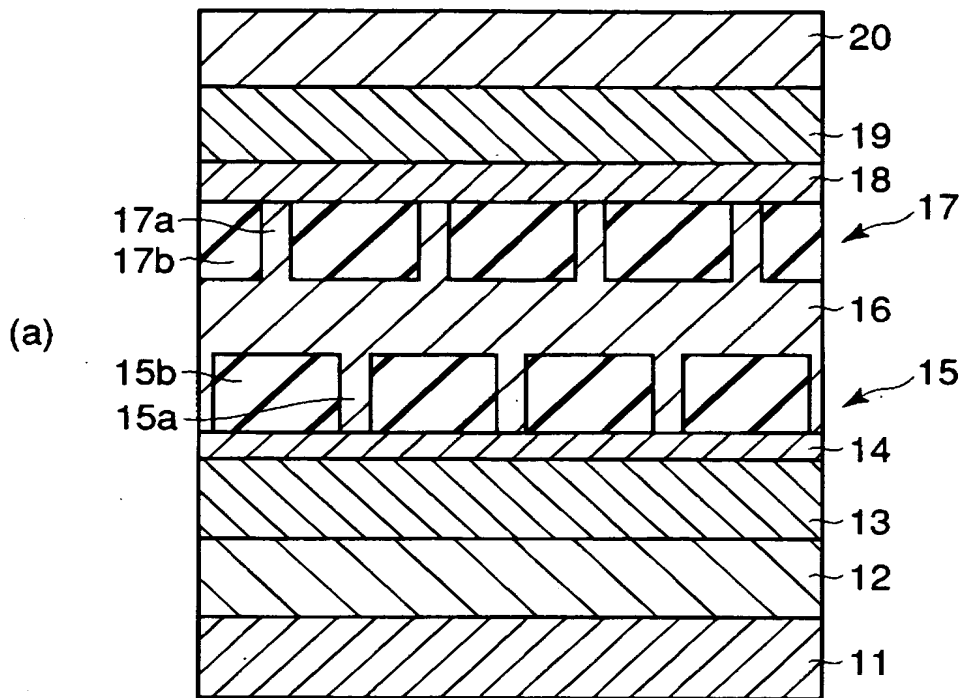
【図 1】



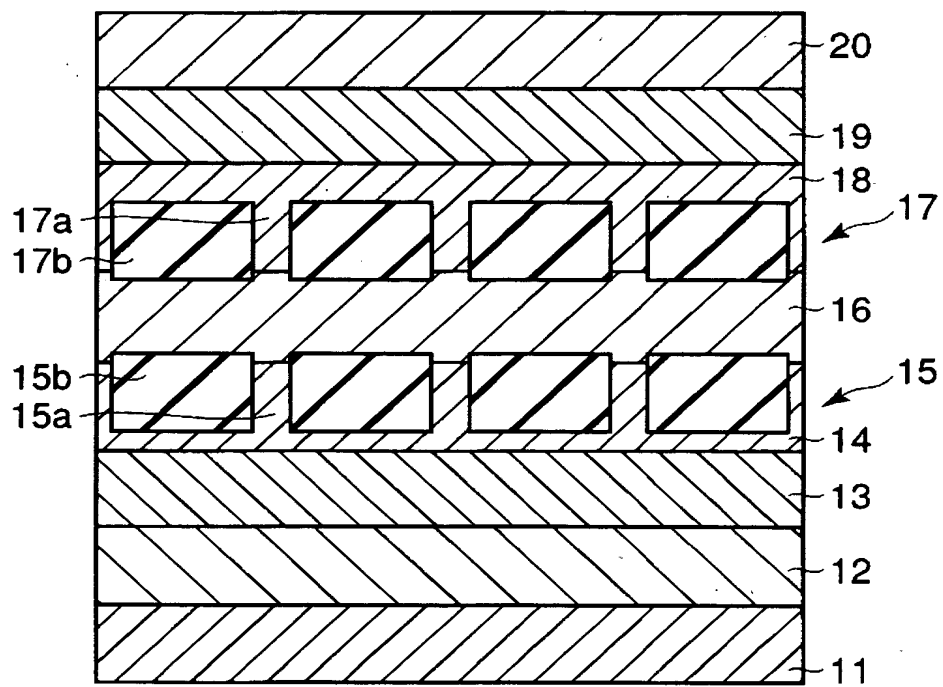
【図 2】



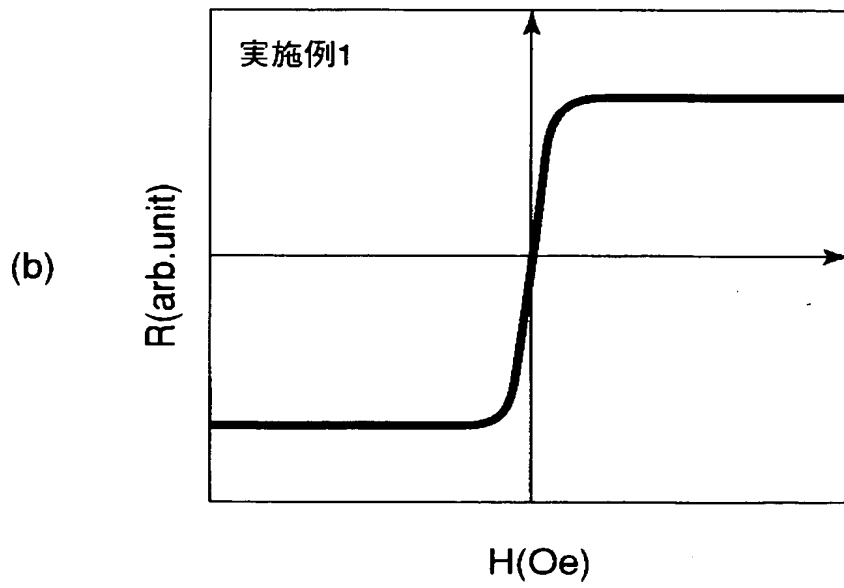
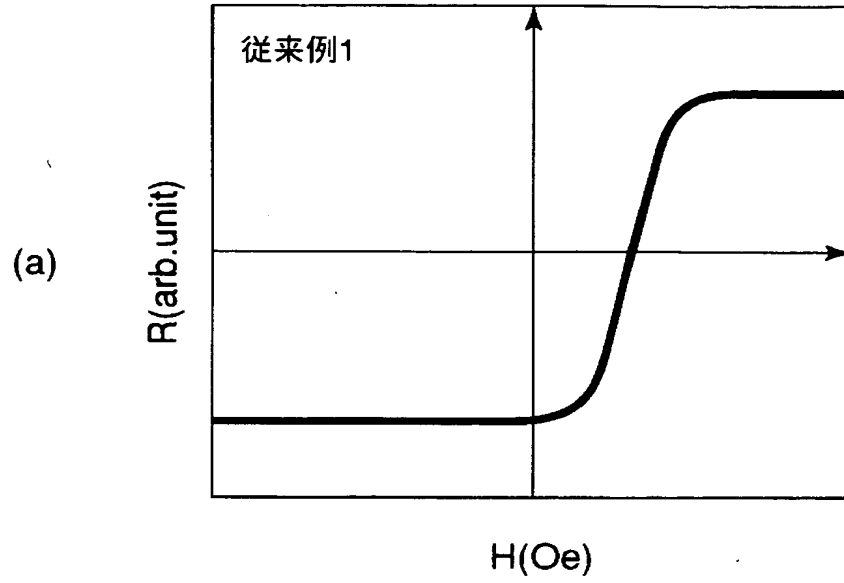
【図 3】



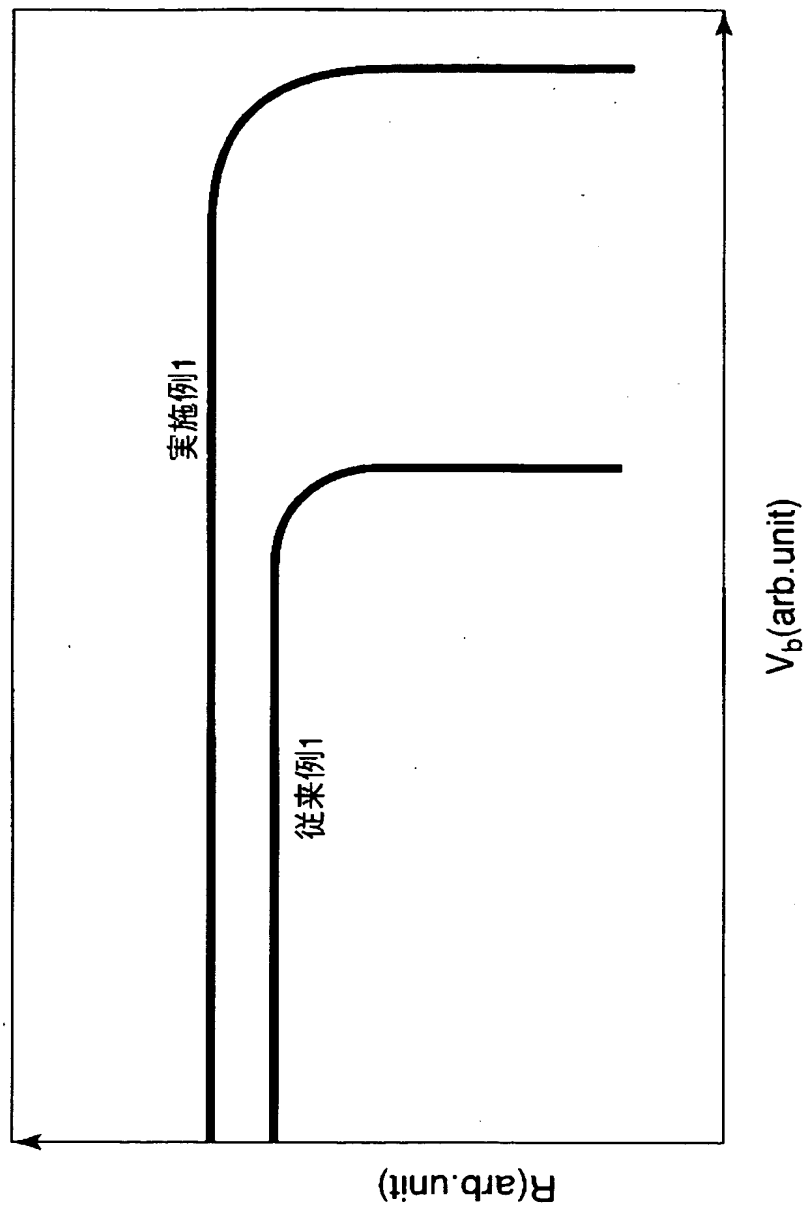
【図 4】



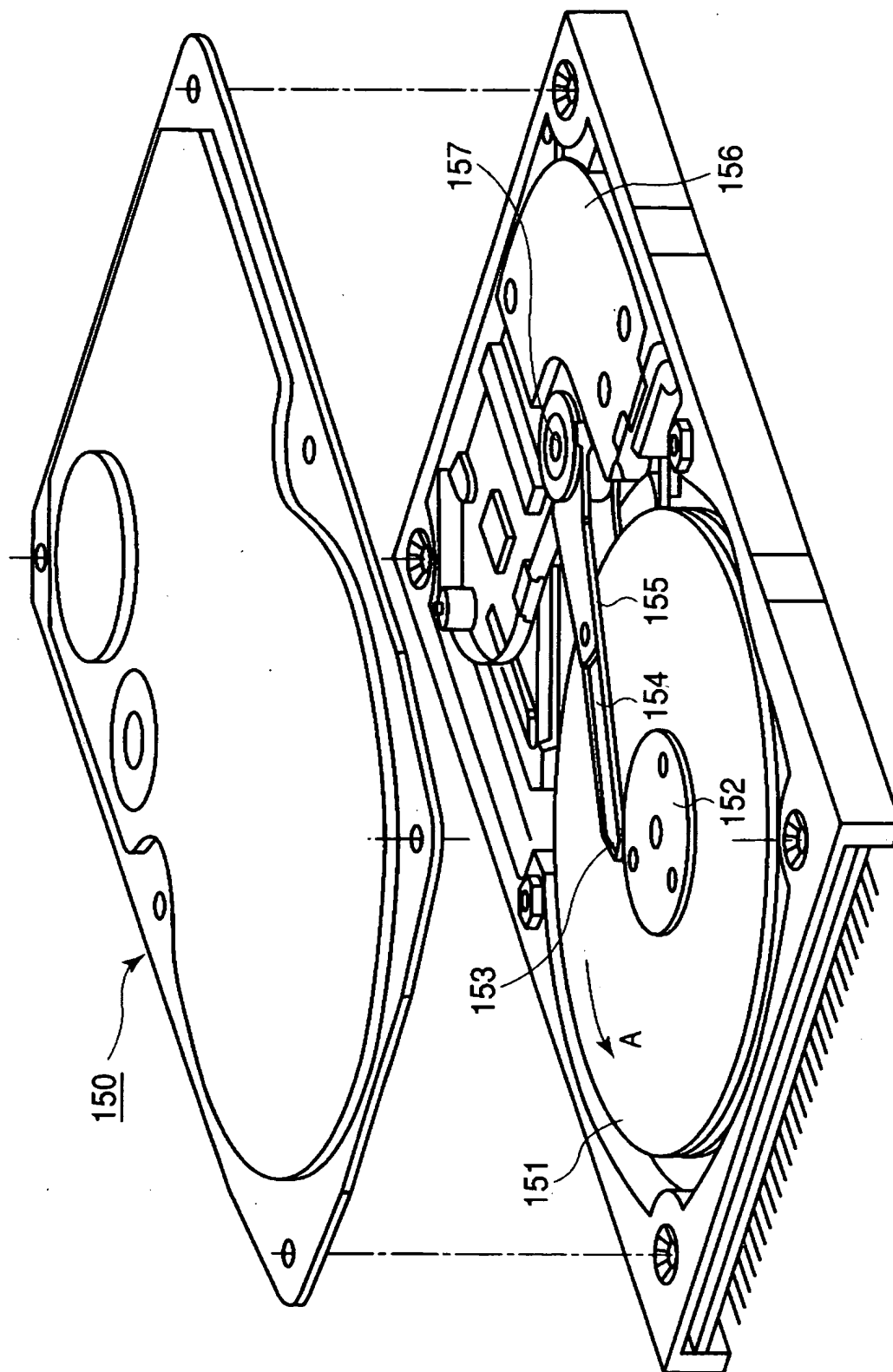
【図 5】



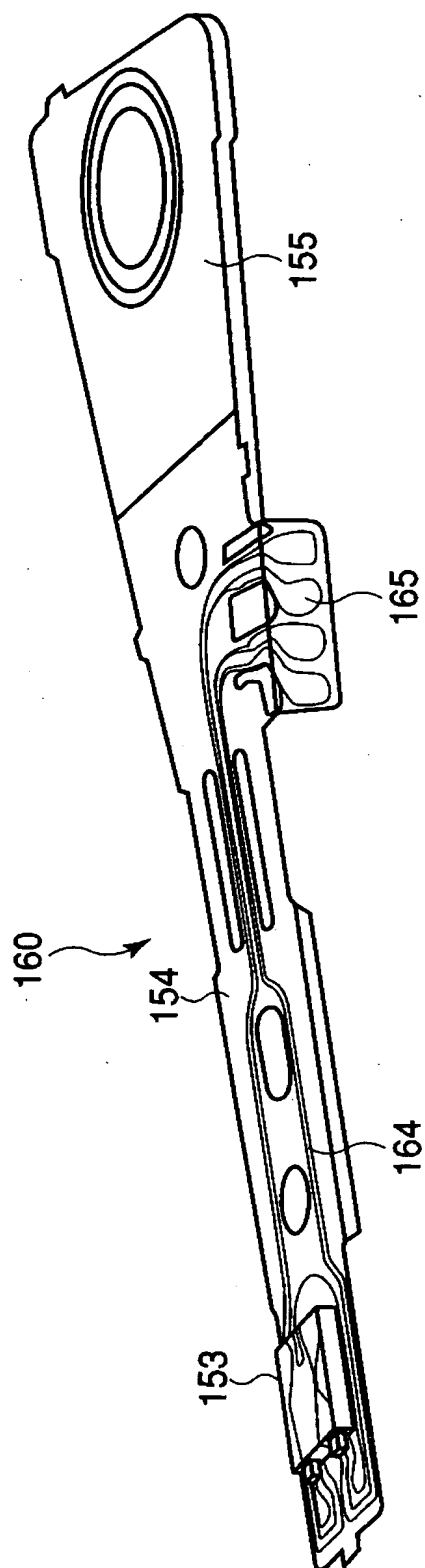
【図 6】



【図 7】



【図 8】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 適正な素子抵抗、高MR変化率を維持しながら、低い層間結合磁界および高いブレイクダウン電圧を有し、将来の高磁気記録密度に対応可能な高感度な磁気抵抗効果素子を提供する。

【解決手段】 磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界によって自由に変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられ、第1の非金属中間層／金属中間層／第2の非金属中間層の積層構造を有する非磁性中間層とを含む磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面にはほぼ垂直方向に通電するように配置され、前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極膜とを具備する磁気抵抗効果素子。

【選択図】 図 1

特願 2002-378648

出願人履歴情報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日            2001年   7月   2日  
   [変更理由]            住所変更  
                  住 所        東京都港区芝浦一丁目1番1号  
                  氏 名        株式会社東芝
  
2. 変更年月日            2003年   5月   9日  
   [変更理由]            名称変更  
                  住所変更  
                  住 所        東京都港区芝浦一丁目1番1号  
                  氏 名        株式会社東芝